

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Schumann  
Institut für Physik der Atmosphäre der DLR, Oberpfaffenhofen

# Erdbeobachtung mit Satelliten

## Datenverarbeitung und Anwendungsbeispiele

Seit 1972 liefern Erdbeobachtungssatelliten umfangreiche Datensätze, die eine einzigartige Gelegenheit zur Beobachtung von Landflächen, Ozeanen, Eisflächen und der Atmosphäre bieten. Im folgenden Beitrag wird demonstriert, was mit diesen Daten bereits heute an Erkenntnissen gewonnen werden kann, wobei sich die Anwendungen schwerpunktmäßig an Klima- und Umweltfragen orientieren.

Die sehr großen Datenmengen, die ein Satellit sendet, erfordern geeignete Datenverarbeitungssysteme. Die Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR) hat hierzu das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum in Oberpfaffenhofen aufgebaut. Das Zentrum empfängt die Daten (z.B. von den Noaa-Satelliten) entweder direkt oder erhält diese über das Europäische Datennetzwerk. Die Daten werden in Oberpfaffenhofen prozessiert, archiviert und Nutzern zur Verfügung gestellt. Daneben gibt es eine Datenempfangsstation in Neustrelitz und ein weiteres Datenzentrum in Leipzig, wo vor allem Daten der sowjetischen Kosmos-Serie zur Verfügung stehen. Im folgenden werden Beispiele von verschiedenen Sensoren und Satelliten gezeigt (*Bild 2*). Die Daten unterscheiden sich insbesondere in der geometrischen Auflösung. Die aufgelöste Pixelgröße variiert zwischen 5 m und 1,1 km.

Beispielsweise zeigt *Bild 3* eine fotografische Aufnahme der Stadt Berlin und seiner näheren Umgebung. Das Bild wurde im August 1985 an Bord eines Satelliten der sowjetischen Kosmos-Serie aus einer Höhe von 275 km aufgenommen. Die dabei verwendete Kamera KFA-1000 liefert wohl die besten optischen Aufnahmen dieser Art. Die Auflösung ist besser als 5 m. Das gezeigte Infrarot-Falschfarbenbild wurde so kalibriert, daß Vegetation realistisch in grüner Farbe erscheint. Man kann in dem Bild beispielsweise die damaligen Grenzanlagen erkennen. Heute sind diese Flächen bereits ebenfalls weitgehend bewachsen. Das Forschungszentrum Adlershof befindet sich unten rechts zwischen der Eisenbahn und dem Teltow-Kanal. Ähnliche Bilder von der ge-

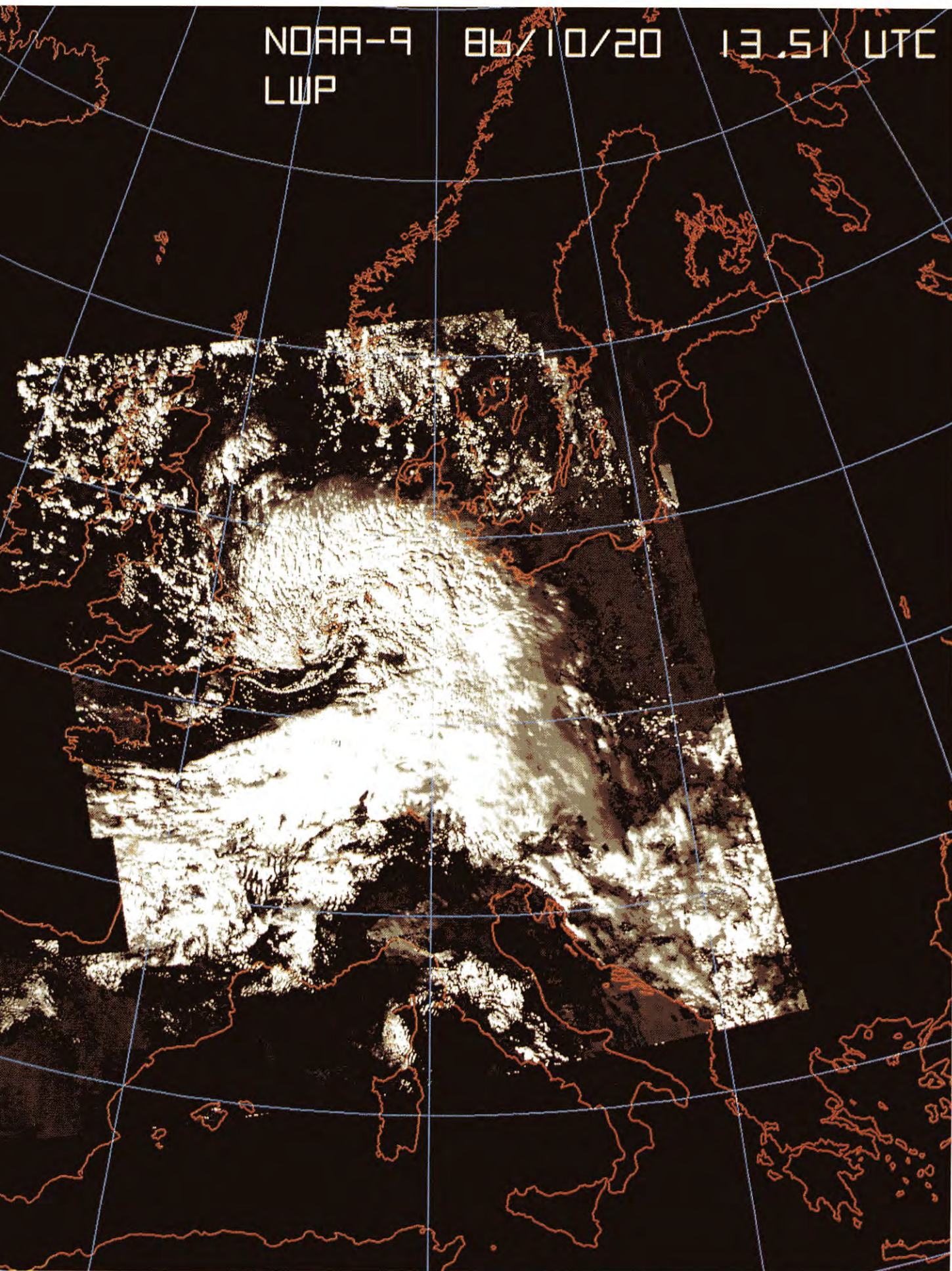
samten ehemaligen DDR aus den letzten fünf Jahren sind in dem Datenzentrum in Leipzig verfügbar und weitere Bilder können dort für nahezu alle Teile der Erdoberfläche beschafft werden.

*Bild 4* zeigt ein Produkt der Kate-Kamera, die synchrone Aufnahmen in drei spektralen Kanälen aufnimmt. Das Beispiel aus dem August 1986 ist ein Farbkomposit aus zwei Spektralkanälen, einer im roten sichtbaren Bereich (600 – 700 nm) und einer im nahen Infrarot (700 – 800 nm). Die Kombination wurde mit einem analogen Farbmischprojektor generiert. Das daraus synthetisierte Farbbild zeigt die mitteldeutsche Löß-Fläche zwischen Magdeburg und Leipzig. Grüne Flächen erscheinen in dieser Darstellung in roter Farbe. Die Oberflächenauflösung beträgt 20 m, die Gebietsgröße ist 100 x 150 km<sup>2</sup>. Derartige Aufnahmen liefern eine Übersicht über die Struktur der Landnutzung zur Zeit des Überflugs. Deutlich kann man Ackerbauflächen mit Zuckerrüben, Mais und Kartoffelanbau unterscheiden. Auch die Wiesen in den Elbauen sind klar erkennbar. Aus einer zeitlichen Folge derartiger Bilder lassen sich Änderungen in der Landnutzung und Waldschäden bestimmen. *Bild 5* zeigt eine Teilfläche im „hohen Fläming“, etwa 20 km nordwestlich der Lutherstadt Wittenberg. Dunkelgrün erscheinen hier Kiefernwälder; Mischwälder sind grün und Laubwälder in hellgrüner Farbe abgebildet. Gelb oder dunkelblau erscheinen offene Ackerflächen und Siedlungsgebiete. Dieses Bild wurde nach verschiedenen Waldschadenstufen klassifiziert, siehe *Bild 6*. Jedes Pixel entspricht einer Fläche von 30 x 30 m<sup>2</sup>. Solche Daten werden periodisch aktualisiert und sind in einer Umweltdaten-

Bild 1: Satellitenaufnahmen ermöglichen die Abschätzung des Flüssigkeitsgehaltes von Wolken. Dunkle Flächen deuten auf geringe, weiße Flächen auf hohe Wassergehalte hin. Wolken sind für Wetter und Klima besonders bedeutsam.









### Beispiele

Sensor/Satellit	Auflösung
Kamera KFA-1000/Kosmos	5 m
3-Kanal Kamera Kate 140/Kosmos	20 m
Abbildendes Spektrometer (TM)/Landsat	30 m (120 m)
Hochauflösendes Radiometer AVHRR/Noaa	1.1 km

Bild 2: Auflösungsvermögen verschiedener Sensoren und Satelliten.

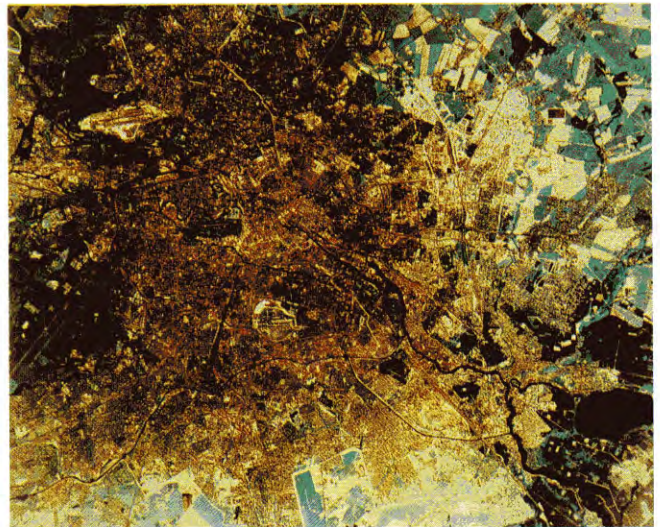


Bild 3: Berlin und seine Umgebung. Aufgenommen mit der KFA-1000 im August 1985.

bank in Kottbus vorhanden. Noch feinere Auflösung läßt sich mit Hilfe des Daelus-Scanners aus Flughöhen von 300 m vom Flugzeug aus erzielen. *Bild 8* zeigt eine Analyse der Multispektraldaten dieses Scanners für ein Gebiet im Fichtelgebirge. Das Bild zeigt das Ergebnis einer Klassifikation nach Baumtypen und Schadklassen von Kiefern.

Derartige Detailanalysen sind mit den heutigen Satellitendaten noch nicht erreichbar. Man kann jedoch, wie *Bild 9* zeigt, Änderungen der Waldbestände aus Landsat-Daten ableiten, die mit einer Auflösung von zunächst 120 m und seit 1984 mit 30 m zur Verfügung stehen. Unten links ist eine 7,5 x 7,5 km<sup>2</sup> große Teilfläche aus dem Bild oben links

für das Fichtelgebirge dargestellt. Diese Landsat-TM-Szene stammt aus dem Juli 1984. Die obere rechte Szene zeigt das gleiche Gebiet mit 125 m Auflösung aufgrund einer Landsat-Aufnahme mit dem früheren MSS-Scanner vom September 1980; unten rechts die entsprechende TM-Aufnahme vom Juli 1986. Man kann aus diesen Bildern die fortschreitende Abnahme von Waldflächen ableiten. Diese Anwendung demonstriert den Wert von Datenarchiven mit vergleichbaren Beobachtungen über langen Zeiträumen.

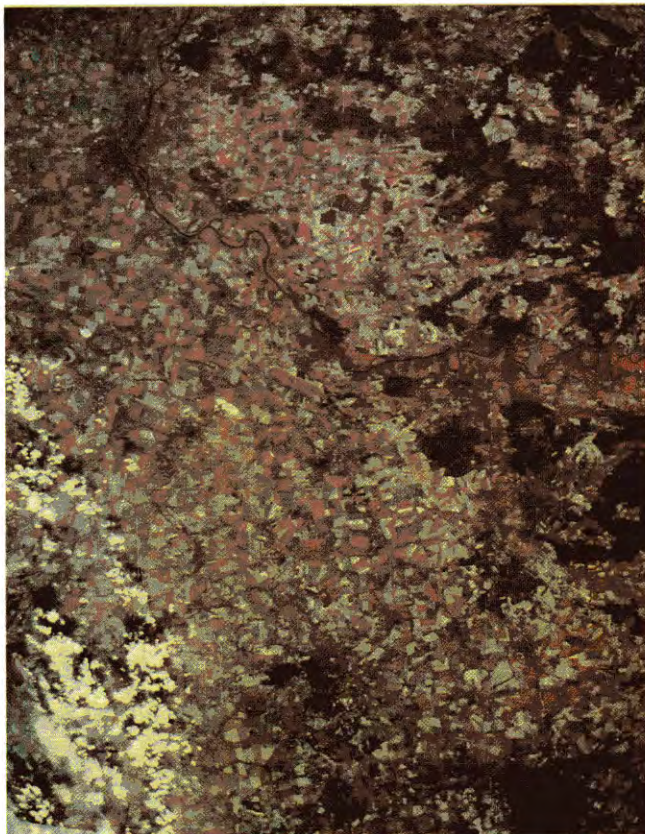


Bild 4: Mitteldeutsche Löß-Fläche, aufgenommen mit der Kate-Kamera im August 1986.

Dies wird weiter durch *Bild 7* belegt, wo eine Landsat-Szene Veränderungen im tropischen Wald in der Umgebung der Stadt Sena Madureira im Staate Acre im südwestlichen Amazonasbecken von Brasilien dokumentiert. Die schwarz angelegten Gebiete entsprechen Rodungsflächen aus dem Jahre 1975, 1984 und 1989. Es handelt sich hier um ein vorläufiges Ergebnis aus einem laufenden Projekt mit brasilianischen Kollegen, das zum Ziel hat, Rodungsflächen, aber auch neu entstehende, sekundäre Waldflächen zu quantifizieren. In einem nächsten Schritt sollen ERS-1-Daten benutzt werden, um Waldrodungen in größerem Maßstab zu erkennen.

Karten von hohem praktischem Nutzen erhält man durch Kombination von Landsat-Daten mit topographischen Karten. *Bild 10* zeigt ein Beispiel einer Waldkartierung für ein Gebiet nahe Regensburg. Farblich sind fünf Waldklassen unterschieden. Solche Karten bilden die



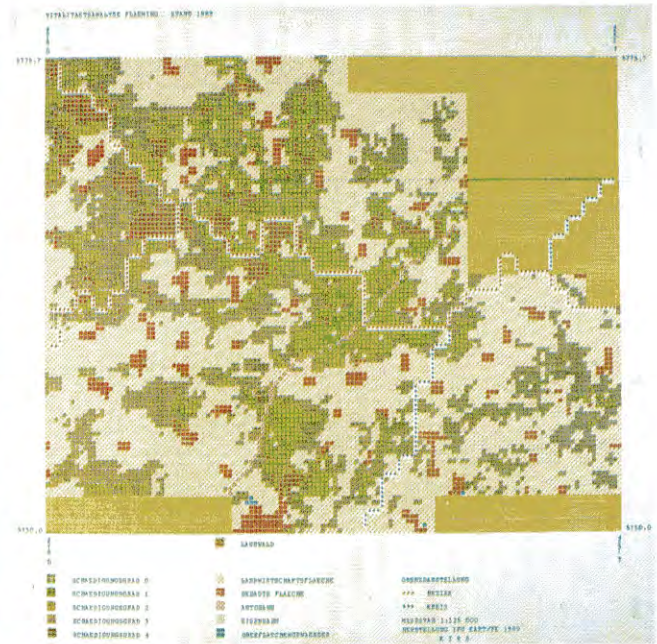
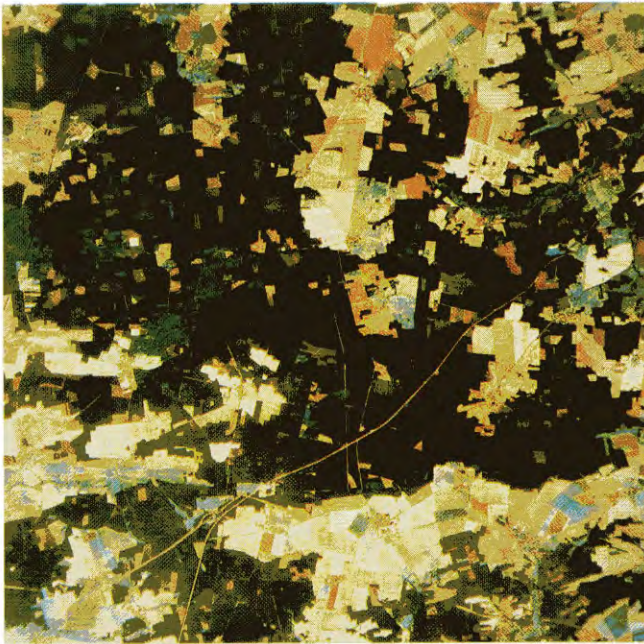


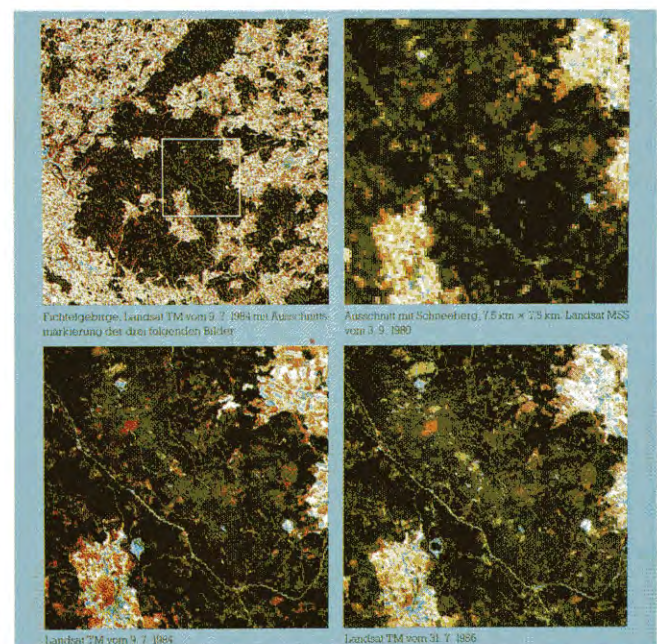
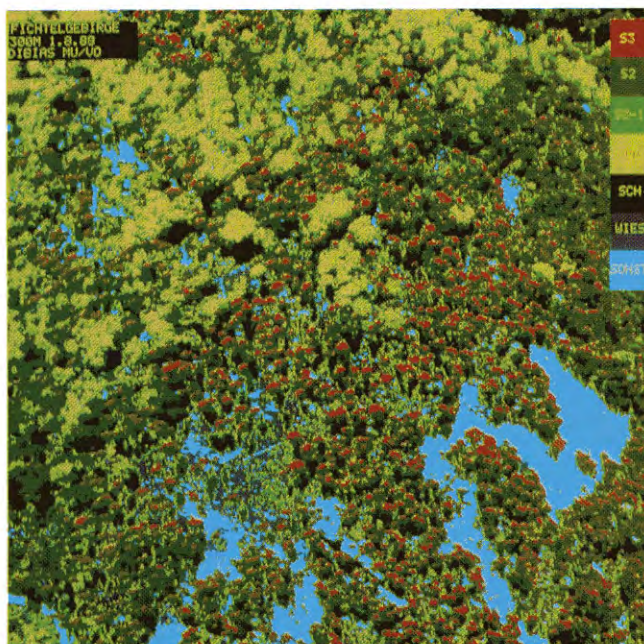
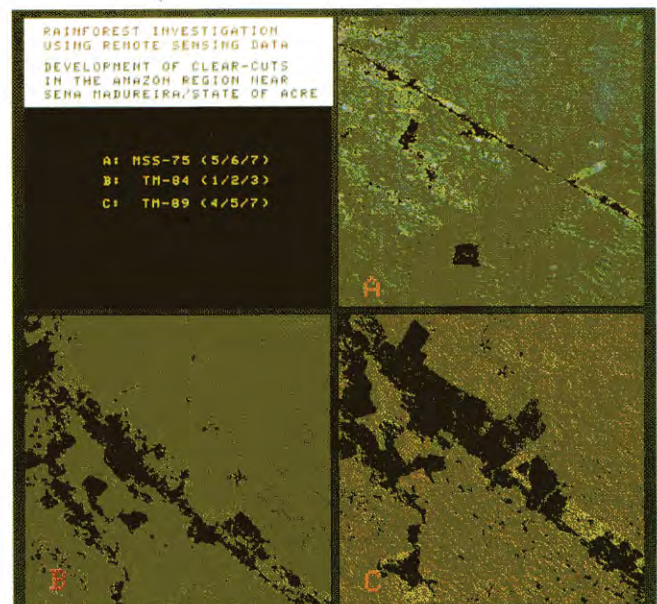
Bild 5 (oben links): Teilfläche im „hohem Fläming“, 25 Kilometer nordwestlich von Wittenberg.

Bild 6 (oben rechts): Klassifizierung des Bildes 5 nach verschiedenen Waldschadensstufen.

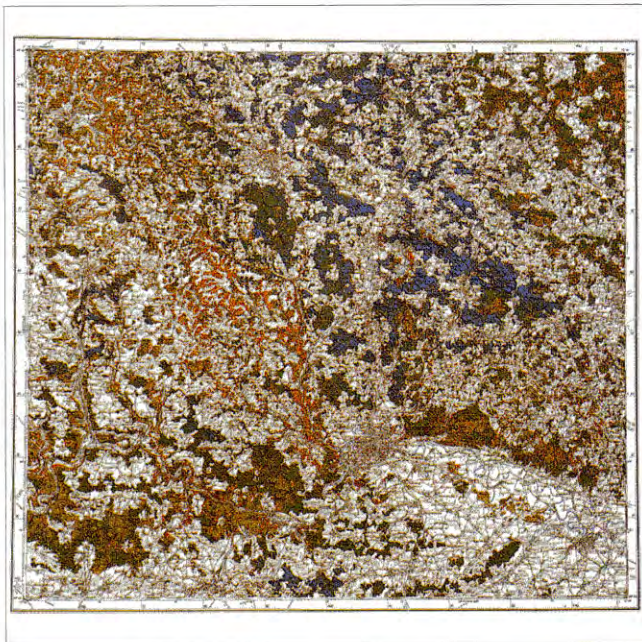
Bild 7 (rechts): Veränderungen im tropischen Wald in der Umgebung der brasilianischen Stadt Madureira, dokumentiert in einer Landsat-Szene.

Bild 8 (unten links): Analyse der Multispektraldaten des Daedalus-Scanners für ein Gebiet im Fichtelgebirge.

Bild 9 (unten rechts): Änderungen der Waldbestände im Fichtelgebirge, abgeleitet aus einer Landsat-TM-Szene.







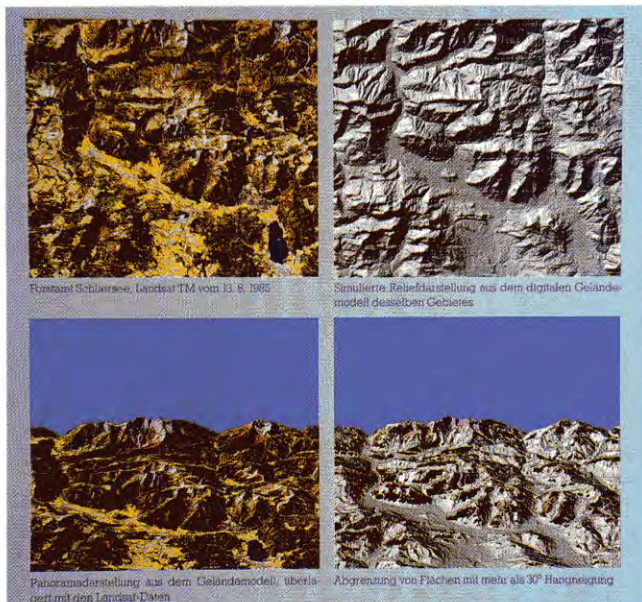
**Bild 10: Waldkartierung für ein Gebiet nahe Regensburg. Beispiel für eine Kombination von Landsat-Daten mit topographischen Karten.**

#### Erdbeobachtung

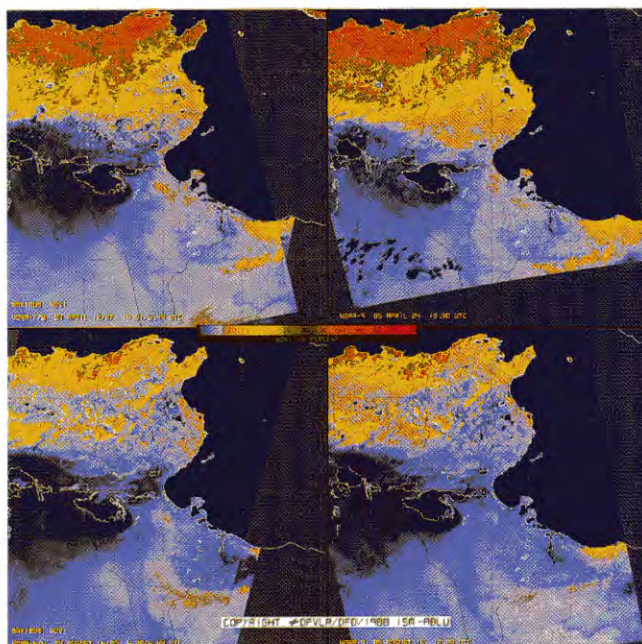
Grundlage zur Erfassung von Waldflächen, ihrer Änderungen und von Schadensklassen.

Eine neue Klasse von Darstellungen erhält man durch Kombination von Landsat-Daten mit hochaufgelösten Geländedateien und geologischen Karten. Beispielsweise ist es hiermit möglich, siehe *Bild 11*, solche Gebiete zu identifizieren, die besonders erosionsgefährdet sind. So identifiziert das untere rechte Bildteil Waldflächen mit mehr als 30° Neigung. Aus einer Serie derartiger Bilder lassen sich Computerfilme erstellen, die die Welt zeigen, wie sie ein Beobachter vom Flugzeug aus sehen würde.

Größere Flächen der Erde lassen sich mit Hilfe von Daten der NOAA-AVHRR-Sensoren analysieren. Die DLR empfängt und archiviert solche Daten seit 1980, im Verbund mit den Empfangsstationen in Maspalomas, Tromsø, Dundee, Lannion und andernorts. Im Rahmen des sogenannten Earthnet der ESA werden solche Daten Teil des internationalen „Tiro-Netzwerk“. Im *Bild 12* wurde aus derartigen Daten der sogenannte Vegetationsindex bestimmt. Dabei nutzt man die Tatsache, daß das Chlorophyll der Pflanzen im roten sichtbaren Spektralbereich relativ stark absorbiert, aber nur sehr wenig im nahen Infrarot. Daher liefert die Differenz der Albedowerte des AVHRR in den Kanälen 2 und 1, normalisiert mit der entsprechenden Summe, ein Maß für die Vegetationsdichte. Hier sieht man, wie sich die Vegetationsfläche am Rand der Sahara in Tunesien zwischen dem Beginn (oben) und Ende (unten) der Trockenperioden in den Jahren 1984 (links) und 1985 (rechts) verändert hat. Der Bereich mit verminderter Vegetation (blau) ist im trockenen Jahr 1984 im Vergleich zum feuchteren Jahr 1985 am Nordrand der Sahara besonders groß.



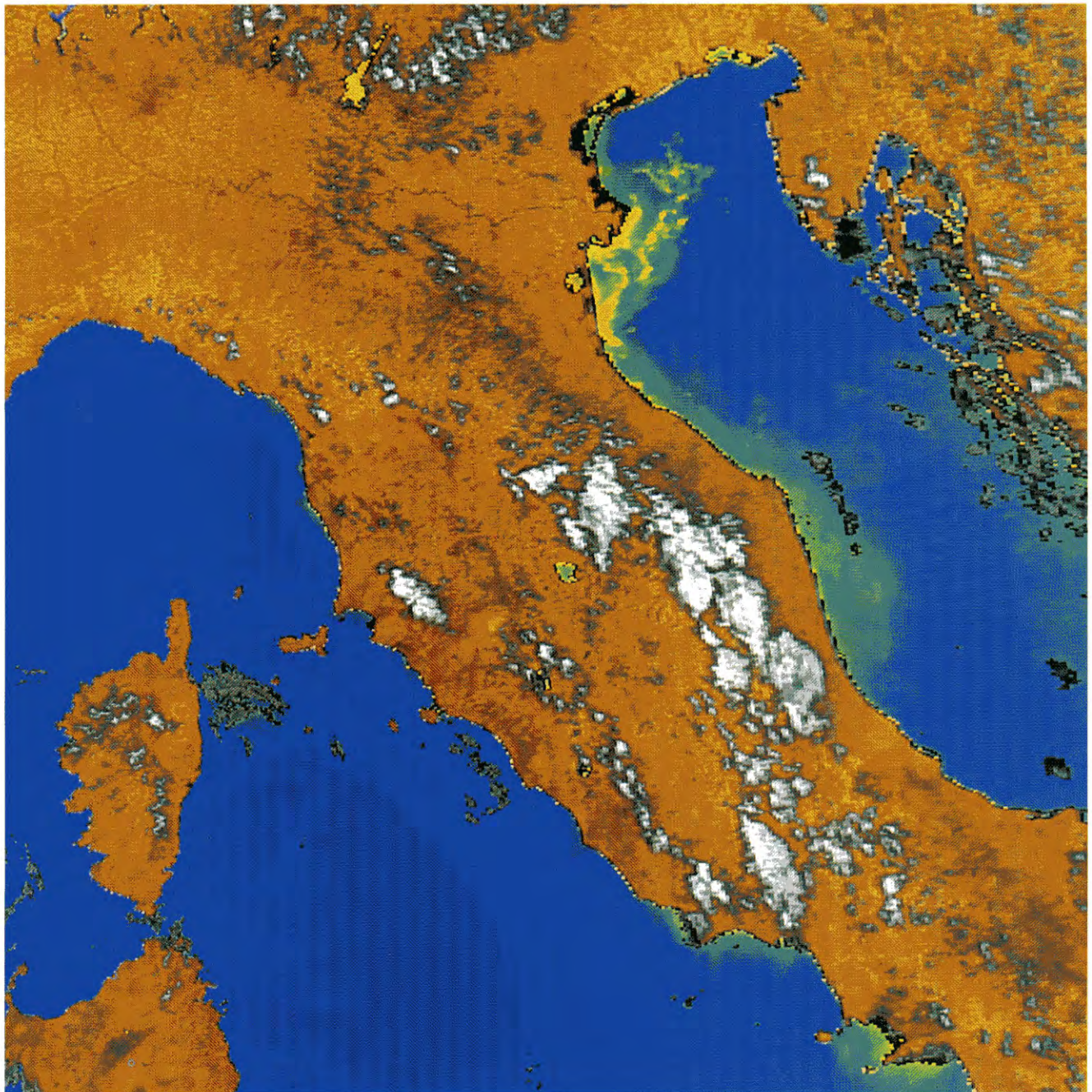
**Bild 11: Beispiel für die Kombination von Landsat-Daten mit hochaufgelösten Geländedateien und geologischen Karten.**



**Bild 12: Bestimmung des Vegetationsindex aus Satellitenbildern. Veränderungen der Vegetationsfläche am Rand der Sahara in Tunesien zwischen 1984 und 1985.**

Wir verlassen nunmehr den Bereich der Anwendungen auf Landflächen und wenden uns Beispielen für die Fernerkundung von Meeresoberflächen zu. *Bild 13* entstand wieder aus NOAA-AVHRR-Satellitendaten, die in der DLR prozessiert wurden. Hierbei geht es um die Erkennung von Algen in der nördlichen Adria im Juli 1989 entlang der italienischen Küste von Triest bis Ancona. Algen unterscheiden sich in dem Bild vom sauberen (dunkelblauen) Wasser durch ihre blaugrüne oder grün bis gelbe Farbe. Allerdings kann man anhand dieser Daten nicht zwischen Algen und





**Bild 13:** Nachweis von Algen in der nördlichen Adria im Juli 1989 durch Satellitenbilder.

anderen Schwemmstoffen im Wasser unterscheiden. Hierzu bedarf es einer höheren spektralen Auflösung, wie sie früher der CZCS oder zukünftig Rosis ermöglicht. In dem betrachteten Fall haben Wasserproben vor Ort zur gleichen Zeit gezeigt, daß tatsächlich Algentepiche vorlagen. Ein genaueres Bild liefern Flugzeugbeobachtungen mit dem Daedalus-Scanner. *Bild 14* zeigt eine 5 x 5 km<sup>2</sup> große Szene an der Küste von Rimini im Sommer 1989 aus einer Höhe von 3000 m. Dargestellt wurde das Ver-

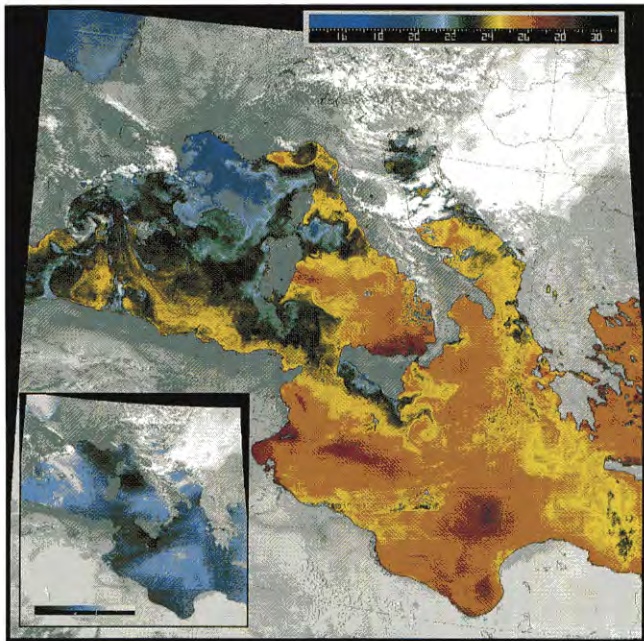
hältnis des grünen zum blauen Spektralkanal (550 nm/450 nm), das besonders empfindlich auf Algen reagiert.

*Bild 15* zeigt als weitere wichtige Anwendung die Auswertung der Meeresoberflächentemperatur aus

**Bild 14:** Küste von Rimini im Sommer 1989. Flugzeugbeobachtungen mit dem Daedalus-Scanner ergänzen die Satellitenbeobachtungen aus Bild 13.







**Bild 15: Bestimmung von Meeresoberflächentemperaturen aus NOAA-AVHRR-Daten.**

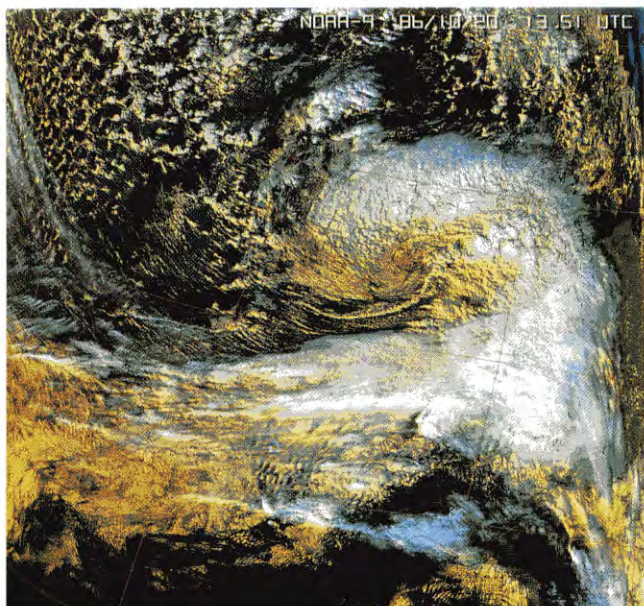
#### Erdbeobachtung

Noaa-AVHRR-Daten. Die Oberflächentemperatur ist eine der wichtigsten physikalischen Größen, die den Energie- und Wasserdampf-Austausch zwischen der Meeresoberfläche und der Atmosphäre kontrolliert. Bei Wolkenfreiheit kann diese Temperatur aus den Daten bis auf ca. 1K bestimmt werden. Hierzu benutzt man den sogenannten Fensteralgorithmus (split window algorithm) auf Basis der Strahlungstemperaturen in den Kanälen 4 und 5 mit spektralen Empfindlichkeiten bei 10 und 12  $\mu\text{m}$ . Im Bild sieht man einen großen Teil des Mittelmeeres zwischen Spanien und Griechenland in einer polar-stereographischen Projektion. Landflächen und die meisten Wolken erscheinen in grau/weißer Farbe entsprechend der Dominanz des nahen Infrarotkanals. Die Farben der Wasserflächen entsprechen der Strahlungstemperatur der Meeresoberflächenhaut. Der Farbkeil ordnet den Farben Temperaturen in Grad Celsius zu. Man sieht starke Temperaturkontraste, die teilweise mit den Meeresströmungen zusammenhängen.

Das Teilbild unten links stellt die Differenz zwischen Kanal 5 und der berechneten Temperatur dar. Die darin sichtbaren geringen Variationen sind typisch für die Effekte des Wasserdampfes in der Atmosphäre und daher beweist dies Bild, daß störende atmosphärische Effekte weitgehend eliminiert wurden.

Wolken sind für Wetter und Klima besonders bedeutsam. *Bild 16* zeigt ein aus AVHRR-Daten der Kanäle 1, 2 und 4 vom Oktober 1986 erzeugtes Farbbild der Wolkenbedeckung. Auf diese Szene wurde der sogenannte Apollo-Algorithmus angewandt, der von britischen und deutschen Wissenschaftlern entwickelt wurde und der es ermöglicht, den Flüssigwassergehalt der Wolken abzuschätzen. *Bild 1* zeigt die gleiche Szene. Hier deuten dunkle Flächen auf geringe und weiße Flächen auf hohe Wassergehalte hin. Diese Ergebnisse wurden mit numerischen Wettervorhersagen des Deutschen Wetterdienstes verglichen (14 Stunden Vorhersage). Dabei zeigte sich, daß die Ergebnisse des Rechenprogramms die beobachteten Werte des Wassergehalts um bis zu einem Faktor drei übersteigen. Der Deutsche Wetterdienst implementiert das Apollo-Verfahren derzeit in den operationellen Dienst.

Aufgrund des Luftverkehrs entstehen künstliche Cirruswolken in Form der be-



**Bild 16: Wolken sind für Wetter und Klima besonders bedeutsam. Dieses Bild zeigt die Kombination dreier Kanäle aus den NOAA-AVHRR-Daten.**



**Bild 17: Kondensstreifen im Satellitenbild in der Region zwischen Frankfurt und Venedig.**



kannten Kondensstreifen. Solche dünnen Eiswolken lassen sich anhand der Differenz der Kanäle 4 und 5 des AVHRR nachweisen, da die Emissivität von Eiswolken sich in diesen Kanälen stark unterscheidet. Im *Bild 17* ist die Region zwischen Frankfurt und Venedig zu sehen, die offensichtlich von vielen linienförmigen Kondensstreifen bedeckt ist. Für diesen Tag, dem 18. Oktober 1989, wird geschätzt, daß diese Region zu 8 % mit flugzeuginduzierten Wolken bedeckt ist. Dies ist ein extrem hoher Bedeckungsgrad. Im Durchschnitt aller Tage liegt der Bedeckungsgrad, soweit wir bisher wissen, deutlich unter 1 %.

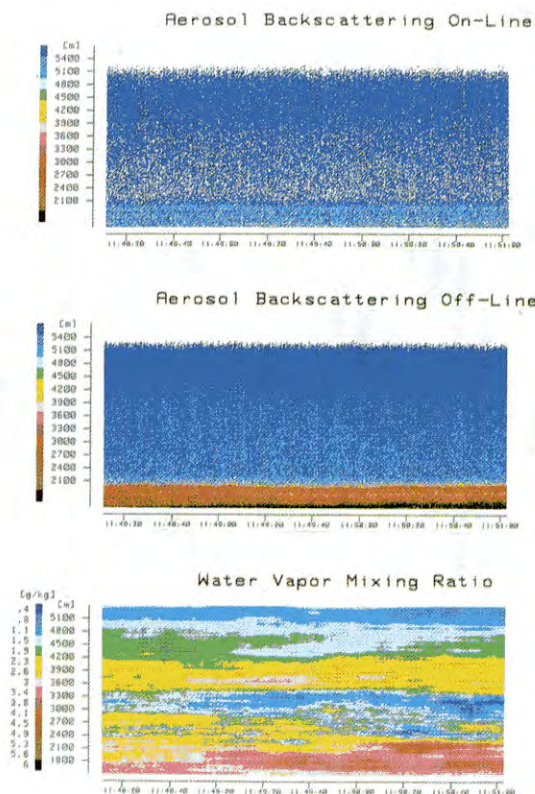
Die bisherigen Beispiele entstammen der passiven Fernerkundung. In Zukunft wird man sich verstärkt aktiven Fernerkundungssystemen, wie Lidar und Radar, zuwenden (*Bild 18*). Gegenwärtig werden diese Methoden vom Boden aus oder von Flugzeugen für die Fernerkundung eingesetzt. Lidarsysteme sollen zukünftig auf einer der geplanten polaren Plattformen montiert werden. Ein Lidar ist auch für die sowje-

**Bild 18:** Lidar und Radar werden zukünftig verstärkt als Fernerkundungssysteme Verwendung finden.

tische Mir-Station in Vorbereitung. Ein solches aktives Fernerkundungssystem kann insbesondere die Höhe und die räumliche Verteilung von Wolken und Aerosolen in einer sonst unerreichbaren Genauigkeit liefern. Die Wolkenhöhe ist ein kritischer Klimaparameter. Änderungen in der Aerosolkonzentration treten insbesondere am Oberrand der kon-

vektiven atmosphärischen Grenzschicht auf. Diese Tatsache wird in *Bild 19* verdeutlicht, wo die an Aerosolen zurückgestreute Lichtintensität in einem vertikalen Querschnitt von 3 km Höhe und 10 km Länge dargestellt ist. Dies Bild wurde mit einer Lidar-Messung vom Flugzeug aus in ca. 4 km Höhe gewonnen. Hierbei ist die obere Grenze

**Bild 19:** Lidar-Messungen aus einem Flugzeug. Änderungen in der Aerosolkonzentration treten insbesondere am Oberrand der konvektiven atmosphärischen Grenzschicht auf.



## LIDAR (Light Detection and Ranging)

- Aerosole
- Wolken-Höhe
- Grenzschicht-Höhe
- Spurengase, z.B. Wasserdampf
- Windfeld

## RADAR

- Wolkenwassergehalt
- Niederschlagsrate
- Windfeld

**Bild 20:** Radar des Instituts für Physik der Atmosphäre der DLR.

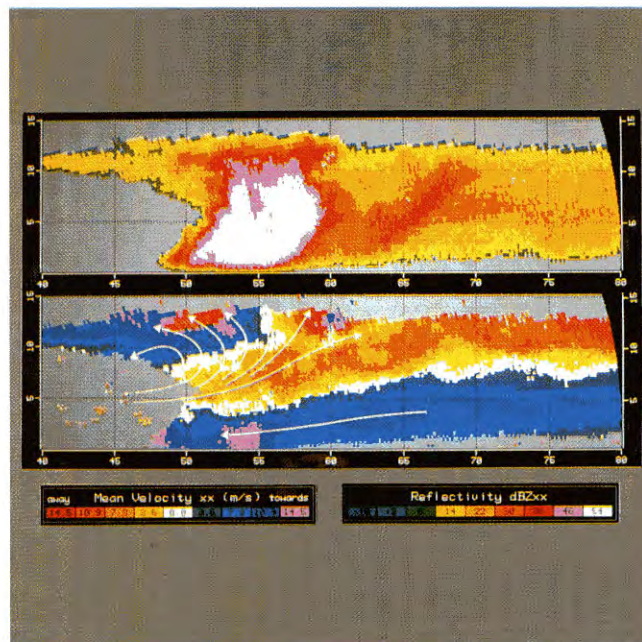




der Grenzschicht deutlich erkennbar. Mit Hilfe eines neuen Differential-Absorptions-Lidars kann man zur gleichen Zeit die Wasserdampfkonzentration in absoluter Weise bestimmen. Das Bild zeigt geringe Wasserdampfkonzentrationen (etwa  $1 \text{ g/m}^3$ ) oberhalb und deutlich höhere Werte ( $5$  bis  $7 \text{ g/m}^3$ ) innerhalb der konvektiven Grenzschicht. Solche Messungen sind sehr wichtig, um dem hydrologischen Zyklus im Klimasystem der Erde zu verstehen.

Radar ist ebenso wie Lidar ein aktives Fernerkundungssystem, das jedoch mit elektromagnetischen Wellenlängen im cm-Bereich arbeitet. Das in *Bild 20* gezeigte Radar befindet sich auf dem Dach des Instituts für Physik der Atmosphäre der DLR in Oberpfaffenhofen. Die Wellenlänge beträgt  $5 \text{ cm}$ . Das Radar mißt die von Wolkenteilchen gestreute Energie und zusätzlich die Doppler-Geschwindigkeit und die Polarisation in zwei Polarisationssebenen. Aus den Daten kann man den Flüssigwasser- und Eisgehalt in der Wolke, die Geschwindigkeit der Wolkenteilchen in Richtung auf das Radar und die geometrische Form der streuenden Teilchen bestimmen. *Bild 21* zeigt zum Beispiel die Struktur eines Gewitters in  $40$  bis  $80 \text{ km}$  Entfernung vom Radar in Höhen bis zu  $15 \text{ km}$  über Grund. Die obere Bildhälfte zeigt die Doppler-Geschwindigkeit. In den gelb-orangen Bereichen bewegt sich die Wolke weg vom Radar, in den blau-lila Teilen bewegt sie sich auf das Radar zu. Aus der Gesamtheit der Beob-

**Bild 21:** Struktur eines Gewitters in  $40$  bis  $80 \text{ Kilometer}$  Entfernung. Messungen durch das Radar der DLR.



achtungen kann man das Bewegungsfeld rekonstruieren, wie es die Pfeile andeuten. Im unteren Bildteil ist die von der Wolke zurückgestreute Radarleistung dargestellt, deren Wert ein Maß für die Dichte und Größe an Schnee und Regen ist. Es handelte sich hier um eine Gewitterwalze, deren Front in  $54 \text{ km}$  Entfernung mit starken Böen und Niederschlag verbunden ist. Man arbeitet darauf hin, daß eines Tages solche Radarsysteme an Bord von Satelliten eingesetzt werden. Sie würden die globale Beobachtung von Niederschlag und

Wetterprozessen mit einer bisher unerreichten Genauigkeit ermöglichen.

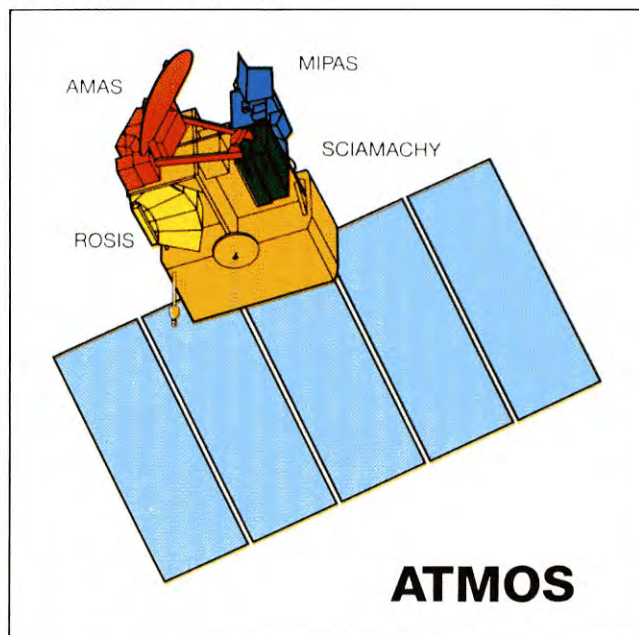
### Zukünftige Fernerkundungssysteme

Mit der Beschreibung aktiver Methoden der Fernerkundung wurde bereits die zukünftige Entwicklung angesprochen. Es werden jetzt einige der Systeme kurz erläutert, die derzeit vorbereitet werden und die in den nächsten Jahren zum Einsatz kommen sollen, siehe *Bild 22*.

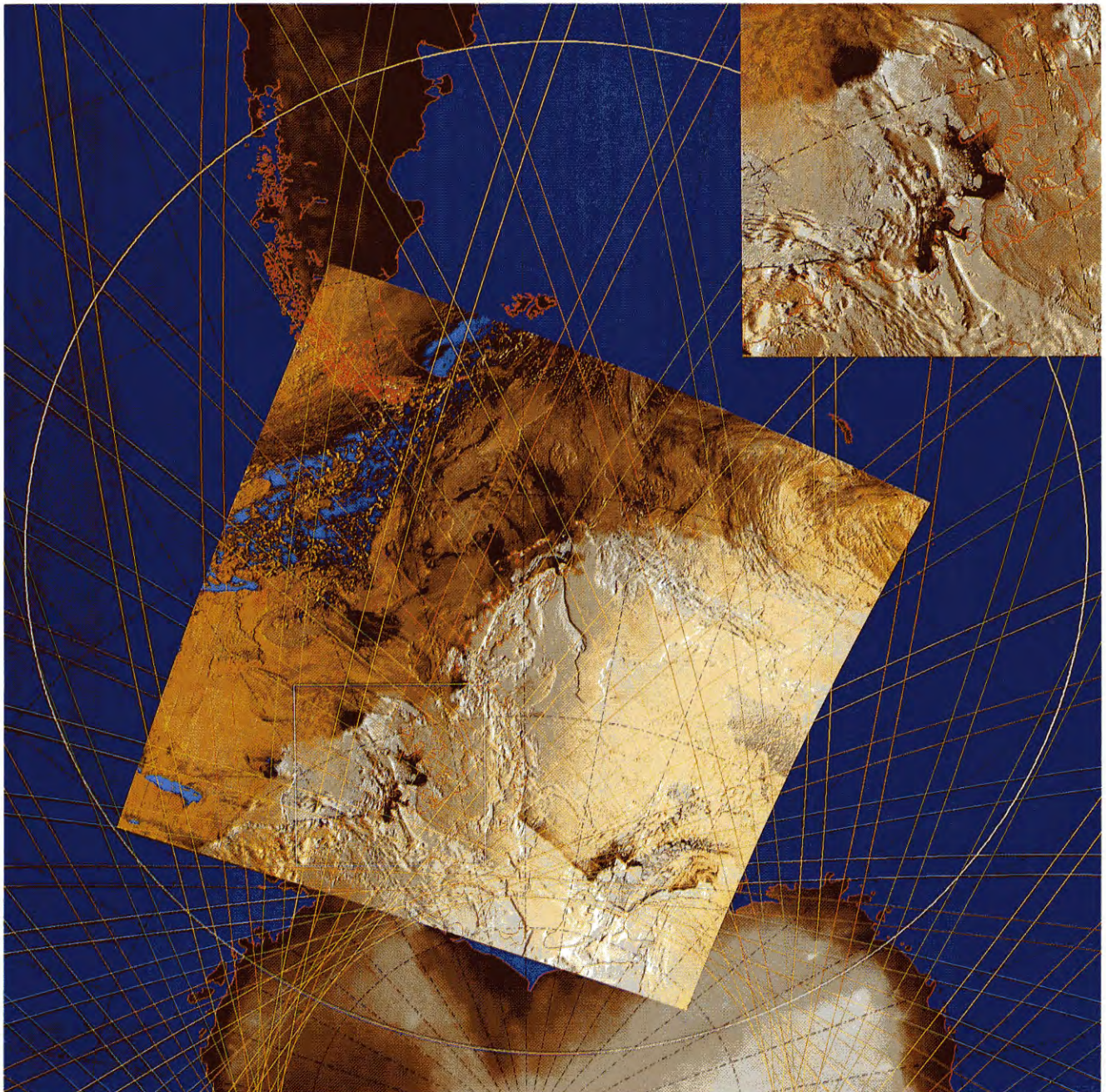
**Bild 22:** Zukünftige Fernerkundungssysteme.

Eine Auswahl von Systemen mit deutscher Beteiligung:	
Ers-1	Europäischer Erderkundungs-Satellit-1
Atmos	Umwelt-Überwachungs-Satellit
Piroda	Interkosmos Projekt „Natur“ der Sowjetischen Raumstation Mir
EOS-XSAR	Erdbeobachtungs-System (Nasa, USA) — X-Band SAR

**Bild 23:** Der geplante Atmos-Satellit.







Im Juli 1991 wurde der ERS-1 gestartet. Deutsche Institute installieren eine Daten-Empfangsstation auf der antarktischen Halbinsel. Diese wird es ermöglichen, Daten über der Wedell-See zu empfangen, die für die deutsche Antarktis-Forschung von besonderem Interesse sind. Diese Station wird SAR-Daten vom ERS-1 im Rahmen des Internationalen Polar-Ozean-Programms empfangen. *Bild 24* zeigt diese Halbinsel und die Südspitze Südamerikas. Der ERS-1-Empfangsbereich liegt innerhalb des gezeichneten Kreises. Die einzelnen Kurven zeigen die SAR-Meßspuren innerhalb einer Periode von drei Tagen.

Grundlage des Bildes ist eine AVHRR-Szene, die so prozessiert wurde, daß Schnee und Eis besonders deutlich werden. Man kann hier sogar einzelne Eisschollen unterhalb einer dünnen Stratuswolkendecke in der Wedell-See erkennen. Der ERS-1 wird viel zum Verständnis von Ozean- und Landoberflächen-Eigenschaften beitragen.

Wichtige neue oder zusätzliche Daten über die Zusammensetzung der Atmosphäre, speziell der Stratosphäre, lassen sich mit Hilfe des derzeit geplanten Atmos-Satelliten, siehe *Bild 23*, gewinnen. Dieser Satellit soll dringend erforder-

**Bild 24:** Die Antarktische Halbinsel ist der Standort der von der DLR betriebenen ERS-1-Empfangsstation. Der ERS-1-Empfangsbereich liegt innerhalb des gezeichneten Kreises. Die einzelnen Kurven stellen die SAR-Meßspuren innerhalb einer Periode von drei Tagen dar.

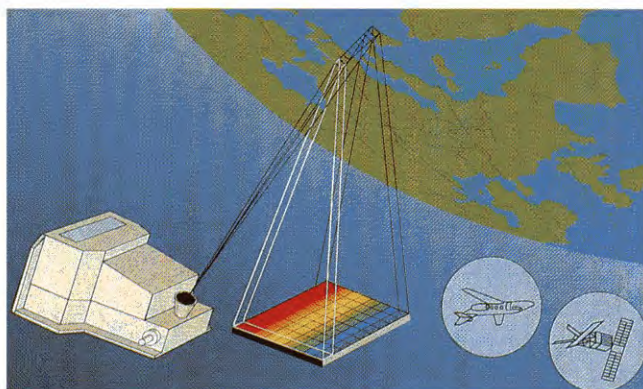


derliche Informationen zur Klima- und Umweltforschung liefern. Hier sei nur auf das Problem der Änderung der Ozonschicht verwiesen. Gegenwärtig werden vier Sensoren diskutiert, das Amas (Advanced Millimeter Wave Atmospheric Sounder), Mipas (Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding), Sciamachy (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Chartography) und Rosis (Reflective Optics System Imaging Spectrometer). Das Rosis, siehe *Bild 25*, erfaßt die Land- und Meeresoberflächen sowie Wolken in bis zu 128 spektralen Kanälen mit hoher räumlicher Auflösung.

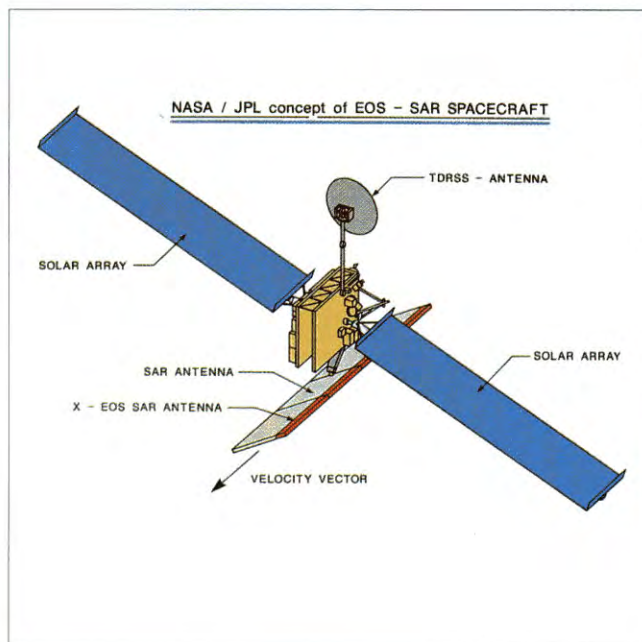
*Bild 26* stellt den X-EOS-Satelliten mit einem polarimetrischen Mehrfrequenz-SAR-System dar. Es handelt sich hierbei um ein Nasa-Projekt, zu dem deutsche und italienische Gruppen ein SAR im X-Band bereitstellen. Das Projekt befindet sich in einer fortgeschrittenen Studienphase. Es soll mit globalen SAR-Beobachtungen eine wesentliche Rolle bei der Mission zum Planeten Erde spielen. Wie im *Bild 27* erläutert, liefert ein derartiges System wichtige Informationen zur Erfassung der Biomasse, zur Erfassung von Wellenfeldern und Strömungen bei der Ozeanographie sowie Art und Umfang der polaren Eisgebiete.

Die neue Qualität der Ost-West-Zusammenarbeit eröffnet jetzt auch deutschen Instituten die Nutzung der sowjetischen Orbitalstation Mir. *Bild 28* zeigt

**Bild 25:** Mit Rosis, einem Instrument des Atmos-Satelliten, sollen Land- und Meeresoberflächen sowie Wolken mit hoher räumlicher Auflösung erfaßt werden.



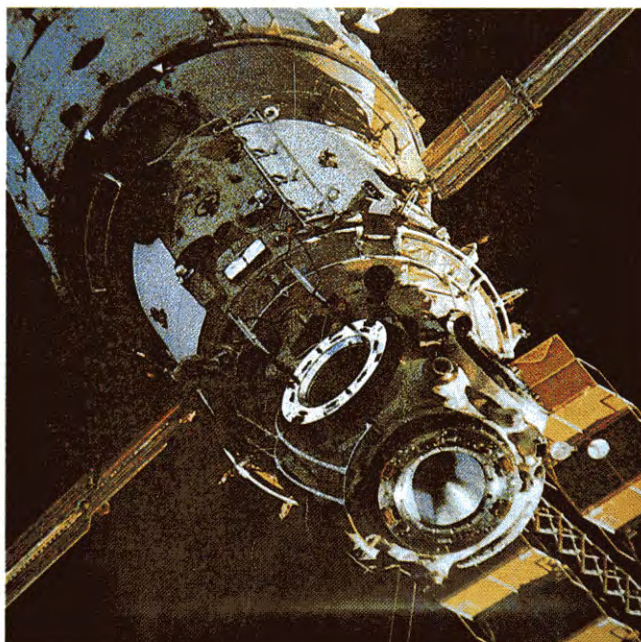
**Bild 26:** Der Radar-Satellit EOS.



**Bild 27:** Aufgaben des EOS-Projektes.

- Multipolarisation, elektronische Strahlsteuerung
- 3 Satellitenstarts in 5 Jahres-Intervallen (beginnend 1998 – 2000)
- Deutsch-italienischer Beitrag: X-Band SAR
- Anwendungen: Ökologie, Geologie, Hydrologie, Ozeanographie, Glaziologie
- Denkbare weitere Anwendungen: Biosphäre, Hydrologischer Zyklus, Kohlenstoffzyklus usw.

**Bild 28:** Basisblock der sowjetischen MIR-Station.





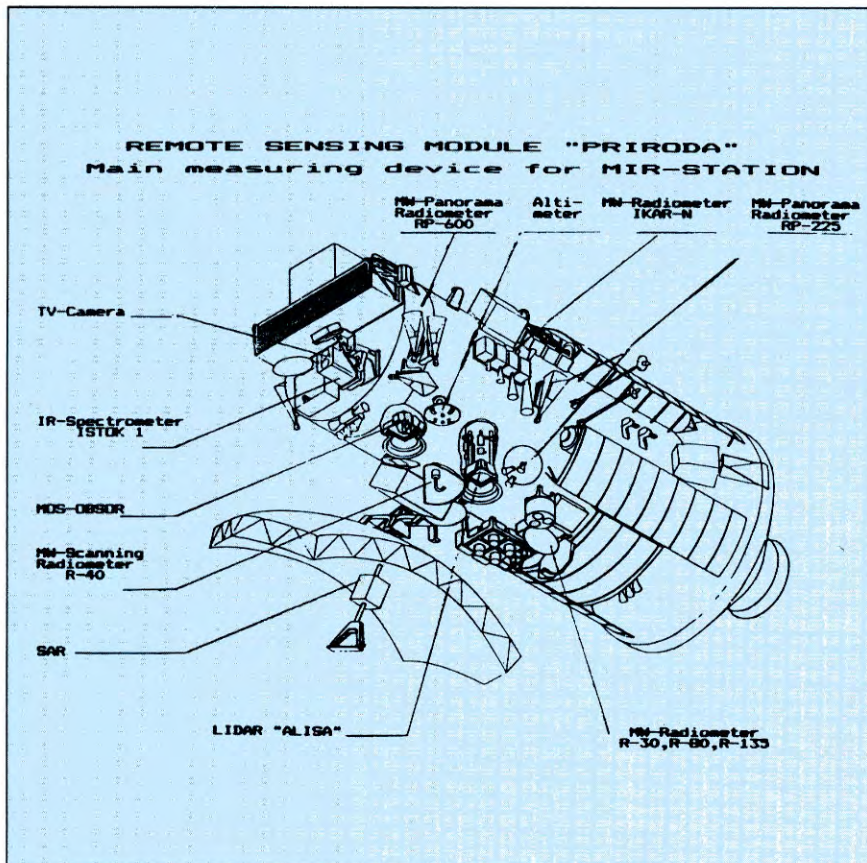
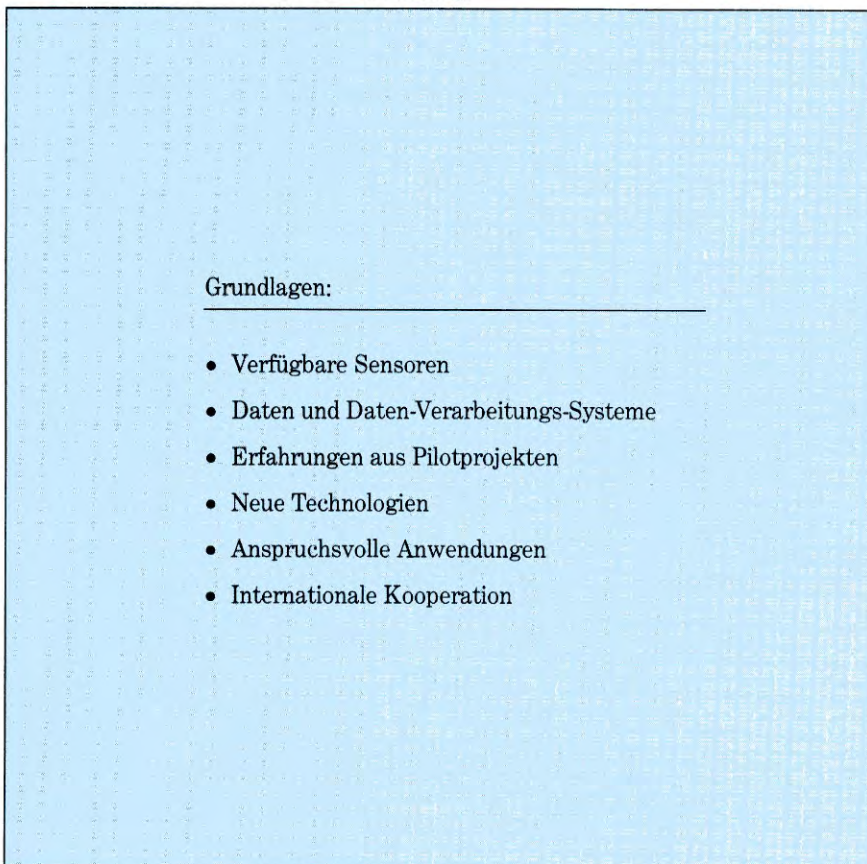


Bild 29: Das Multisensorsystem Priroda.

Bild 30: Die Basis der zukünftigen Erdbeobachtung.



den Basisblock der Mir-Station, die seit 1986 in einer Höhe von 300 bis 400 km Höhe mit einer Inklination von  $51.6^\circ$  im Einsatz ist. Einer der vier im Bild erkennbaren seitlichen Stützen (Innendurchmesser 800 mm) kann zur Ankopplung verschiedener Nutzersysteme verwendet werden. Gegenwärtig wird hierzu das Multisensorsystem Priroda vom Institut für Radiotechnik und Elektronik in Moskau unter Mitwirkung aller fünf Interkosmos-Staaten vorbereitet, siehe Bild 29. Der Priroda-Modul ist etwa 10 Meter lang. Das Institut für Kosmosforschung in Berlin stellt hierzu das optische System Mos bei. Der russische Name Priroda heißt „Natur“ auf deutsch. Dies ist sicherlich ein vielversprechender Name, der die wachsende Bedeutung von Umweltforschung mittels Raumfahrt verdeutlicht.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß deutsche Institutionen ein kräftiges Fundament zur Fernerkundung der Erde entwickelt haben. Die zukünftige Arbeit kann sich stützen auf (Bild 30)

- ▶ verfügbare Sensoren,
- ▶ Datenverarbeitungs-Systeme,
- ▶ Erfahrungen aus bisherigen Pilotprojekten,
- ▶ wichtige Fragestellungen und
- ▶ tragfähige technologische Entwicklungen.

Eine hohe Priorität kommt dabei den Anwendungen von Erdbeobachtungssystemen für die Erkundung von Umwelt und Klima der Erde zu. ✎

Dieser Beitrag ist eine überarbeitete Fassung eines Vortrags auf dem 41. International Astronautical Congress, Dresden, 9. Oktober 1990. Zahlreiche Kollegen der DLR und des Instituts für Kosmosforschung haben hierzu beigetragen, wofür sich der Verfasser herzlich bedankt.